



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE, MECHANIZACE A ŘÍZENÍ STAVEB

INSTITUTE OF TECHNOLOGY, MECHANIZATION AND CONSTRUCTION MANAGEMENT

SNIŽOVÁNÍ HODNOTY STAVENIŠTNÍHO HLUKU POMOCÍ MODELOVÁNÍ VÝROBNÍHO PROSTORU STAVBY A ÚPRAV TECHNOLOGICKÝCH POSTUPŮ PŘI VÝSTAVBĚ

REDUCING THE VALUE OF CONSTRUCTION NOISE BY MODELING
THE PRODUCTION AREA OF CONSTRUCTION SITE AND BY ADJUSTING
THE TECHNOLOGICAL PROCEDURES DURING CONSTRUCTION

TEZE DIZERTAČNÍ PRÁCE

DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Ing. Radka Kantová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Svatava Henková, CSc.

BRNO 2018

Abstrakt:

Doktorská práce je zaměřena na hluk vznikající při výstavbě. Definuje rámec problematiky po stránce legislativní a fyzikální. Stanovuje stavební stroje jako zdroje hluku a řadí je do kategorií a sestav se zohledněním užívaných stavebních technologií. Sdružuje zdrojová data hlučnosti strojů, se kterými lze pracovat v prognostických modelech. Analyzuje míru vlivu staveništního hluku na blízkou obytnou zástavbu a nabízí metodiku k modelování a návrhu možných opatření ke snížení hluku. Definuje dílčí vlivy prostředí staveniště, které jsou významné pro šíření hluku. Stanovuje jejich podíl na hodnotě hladiny akustického tlaku zvuku dopadajícího na fasádu posuzované stavby. Na základě získaných dat a s ověřením v případových studiích předkládá vytvořenou pracovní pomůcku, kterou lze jednoduše pro predikci hlukových poměrů na staveništích uplatnit již v rámci přípravy stavby. Práce je koncipována pro možnost případného využití jako vysokoškolské učebnice nebo studijní opory.

Abstract:

This doctoral thesis focuses on noise generated during construction. It defines the legislative and physical aspects of this topic. It determines heavy machinery as noise source and categorizes them by their usage in construction technologies. It collects source data of the machinery noises which can be further used in prognostic models. It analyses the level of construction noise which can impact the nearby residential areas and offers methodology for modelling and designing the possible arrangements for the noise reduction. It defines partial effects of the construction site which are significant for the noise spreading. It establishes their role in the value of acoustic pressure level of the noise affecting the façade of the considered building. With the data collection and with case study verification it offers a prepared work tool which can be easily used to predict noise levels on construction sites and can be applied in the early constructions preparations. The structure of this thesis is planned for possible usage as university textbook or study support.

Klíčová slova:

Venkovní chráněné prostory staveb, vnitřní prostředí budov, staveništní hluk, zdroje hluku, hladina akustického výkonu, hladina akustického tlaku zvuku, hluková studie, limita hluku, izofona, akustická odrazivost a pohltivost, zvukoměr, měření hluku z výstavby, protihluková clona, zhotovitel stavby, výrobní a předvýrobní příprava stavby, realizace stavby.

Keywords:

Protected outdoor construction areas, indoor building environment, construction noise, sources of noise, level of acoustic power, level of acoustic sound pressure, noise study, noise limits, isophone, acoustic reflectivity and absorption, sound-level meter, construction noise measurements, anti-noise barriers, acoustic shielding, building contractor, pre-production and production preparation of construction sites, realization of construction.

Dizertační práce je k dispozici na ústavu Technologie, mechanizace a řízení staveb FAST VUT, Veveří 95, 602 00, Brno

© Ing. Radka Kantová, Brno, 2018

1.1 OBSAH

1.1	OBSAH	3
2	Téma doktorské práce	4
2.1	Cíl doktorské práce	4
2.1.1	Specifikace dílčích cílů práce	4
2.1.2	Odůvodnění zvolených cílů	4
2.1.3	Popis dílčích cílů	5
2.2	Zvolené metody zpracování	6
3	Analýza současného stavu problematiky, definování rámce legislativních, fyzikálních, zdravotnických a stavebně technických dat	7
3.1	Platná legislativa	8
3.2	Základní veličiny pro modelování hluku z výstavby	9
3.3	Stávající režimy kontroly stavebního hluku	9
3.4	Závěr k současnému stavu problematiky se zaměřením na hluk z výstavby	10
4	Návrh metodiky pro posuzování hluku z výstavby	11
4.1	Posuzování ve fázi výrobní přípravy stavby	12
4.2	Návod pro obsluhu SW Hluk plus pro specifika modelování hluku ze stavební činnosti	12
4.3	Příklad modelování hodnot akustických výkonů strojních sestav v případové studii	13
4.4	Možnosti snižování staveništního hluku	15
5	Stanovení hodnot hlučnosti strojů a strojních sestav	16
5.1	Pořízení dat akustických výkonů strojů	16
5.2	Přístup ke zpracování dat z hlediska pravděpodobnosti a statistiky	18
5.3	Zásady pro určení strojních sestav	21
6	Výpočtové modelování hluku, stanovení dílčích vlivů prostředí na akustickou situaci staveniště - etalon	25
7	Experimentální měření hluku Campus Science Park Building	26
8	Podklady pro návrh specializované SW podpory pro predikci hluku při realizaci staveb	28
9	Metodické pokyny pro modelování a prognózu hluku ze stavební činnosti	29
9.1	Pomůcky pro uplatnění navržené metodiky	30
10	Závěr	30
11	Praktický a teoretický přínos pro praxi	31
12	Studijní prameny	32
13	Životopis	33

2 Téma doktorské práce

2.1 Cíl doktorské práce

Komplexním cílem doktorské práce je shromáždění dat akustických výkonů strojů a následné stanovení metodiky pro přístupy k modelování a prognóze hluku ve staveništním provozu s ohledem na možnosti návrhů mechanizace při výstavbě. Má vést k zohlednění možnosti vzniku hluku na stavbách již v přístupu u plánování stavby v rámci výrobní a předvýrobní přípravy, kdy se dodavatelské firmy zabývají optimalizací technologických postupů, sledem stavebně technologických procesů, nasazením mechanizace pro dodržení časového plánu stavby.

Cílem práce je kromě kompletace dostupných dat k hluku ze stavební činnosti také vyhodnocení, zda, jak, a s jakou mírou přesnosti lze hluk na staveništi předem určit, jestli lze předem řešit zejména pasivní protihluková opatření.

Má zodpovědět na otázku principu, zda vůbec, jak a s jakou přesností lze odhadnout hluk u investičního díla, které se nachází ve fázi přípravy stavby, zda lze ovlivnit míru hluku volbou stavební technologie objektu a jaké okolní vlivy je nutné zohledňovat.

Splněním cíle DP by bylo možno přistupovat k návrhu jednotlivých druhů stavebních strojů, jejich kombinaci či návaznosti prací přesněji, s jistotou splnění požadavku na chráněné venkovní prostory dle platné legislativy. Usnadní možnost začlenění možného vzniku nadlimitního hluku do komplexního řízení procesů v prostorové a časové struktuře výstavby.

2.1.1 Specifikace dílčích cílů práce

Cíl 1) Analýza současného stavu problematiky, definování rámce legislativních, fyzikálních, zdravotnických a stavebně technických dat, vlivů a závislostí, vymezení oblasti hluku ze stavební činnosti,

Cíl 2) Získání dostupných zdrojových dat hlučnosti stavebních strojů doložením hladin akustických výkonů,

Cíl 3) Statistické vyhodnocení získaných dat pro využití v případových studiích zohledňujících technologické aspekty při výstavbě,

Cíl 4) Posouzení vlivu okrajových podmínek pro simulaci hluku strojů v typických strojních sestavách na základě poznatků, modelování a měření,

Cíl 5) Vytvoření pomůcek a návodů pro orientační výpočet hlukové prognózy staveniště, není-li k dispozici možnost certifikovaného měření či hlukové studie.

2.1.2 Odůvodnění zvolených cílů

Vzhledem k absenci literatury k tématu staveništního hluku jsem zaměřila cíle jednak na pasportizaci informací k problematice a také shromáždění hodnot hladin akustických výkonů stavebních strojů – cíl 1 a 2. Vzhledem k tomu, že stroje nepracují jednotlivě, ale v sestavách, a to ve vazbě na technologické postupy, je nutné stanovit okrajové podmínky a míry přesnosti aby bylo možné dodržet spolehlivosti předpovědí. Je nutné stanovit kombinace strojů, které pracují na stavbě souběžně a lze je vnímat jako společný akustický zdroj – cíl 3.

Pro běžné využití v praxi je však naopak nutné zjednodušení predikce hluku pro včasnou možnost optimalizace, pro tento účel je nutné jisté zobecnění pro vytvoření metodiky i dílčích pomůcek – cíl 5.

Vzhledem k tomu, že v rámci přípravy stavby nejsou ještě zcela jasné přesné stroje, bude nutné jednotlivé stroje zařadit do skupin dle technologií a také hlukových kapacit, aby bylo možné pracovat na možnosti prognóz ve strojních sestavách.

Aby bylo možné výsledky zobecnit a vyvodit závěry pro zpracování obecného přístupu, z individuálních nasazení mechanizace, budou definovány nejrizikovější strojní sestavy a přiřazeny akustické hodnoty. Pro nejhlučnější proces doložit ověřením spolehlivosti předpovědi, případně ověřit měřením – cíl 4.

2.1.3 Popis dílčích cílů

Cílem teoretické části je pasportizace materiálů o problematice hluku, který vzniká při stavební činnosti. Snahou je objasnit platnou legislativu ekologie a vysvětlit návaznosti na průběh investiční činnosti s definováním hluku ze stavební činnosti jako podmnožiny obecné zátěže hlukem z prostředí.

Dílčím cílem části je shromáždění údajů o stavebních strojích jako zdrojích hluku – vytvoření přehledných tabulek s hodnotami akustického výkonu nebo akustického tlaku, který stavební stroj způsobuje, s následným přepočtem akustických výkonů strojních sestav.

Dílčím úkolem je demonstrace vlivu staveništního hluku na vhodných případových studiích, ověření a doložení možností a způsobů využití SW podpor, které jsou dosažitelné, byť neslouží prioritně pro modelování staveništního hluku.

Cílem je vytvoření takových podkladů pro staveništní hluk, které by vedly k predikci možností, zobecnění závěrů a nastavení metodiky pro možnost hlukových plánů a definování rizik budoucích investic.

V případových studiích je dílčím cílem ověření hodnot modelováním a výpočty, s porovnáním s daty z vlastního měření na staveništích.

Snahou je rozšíření teoretických základů vnější akustiky a jejího modelování v používaných SW o staveništní aplikace – metodické pokyny pro prognózy staveništního hluku.

Dílčí cíle by měly vést k definování vstupů nutných k ověření hlukové náročnosti výstavby ve výrobní a předvýrobní přípravě staveb pro kvalifikovaný odhad hlukové zátěže výstavby individuálního stavebního díla a možnost zohlednění protihlukových opatření při technickém návrhu zařízení staveniště.

Obecným cílem je zdokonalení stávající metodiky optimalizace staveništního provozu.

2.2 Zvolené metody zpracování

Rešerše problematiky, popis stávajícího stavu, komunikace s akustickými laboratořemi a stavebními úřady pro vymezení množin použitelnosti legislativních technických a matematických skutečností pro hluk z výstavby.

Komunikace s výrobcí a provozovateli strojní mechanizace pro získání certifikovaných hodnot hladin akustického výkonu stavebních strojů L_{WA} (dB) pro jednotlivé stroje pracovních sestav.

Vytvoření souborů pro statistické třídění pro možnost definování středních hodnot a stanovení odchylek.

Hlukové studie, vytvořené pro účely disertační práce jsou pořízeny s podporou programového produktu Hluk+ pro možnost modelování hlukových studií, v režimu studentských licencí.



Autorem všech hlukových studií je autorka disertační práce.

Měření dat pořízeno přístrojem na měření úrovně zvukové hladiny dle EN 61672-1, digitálním hlukoměrem Voltcraft SL – 451 s rozsahem měření 30-130dB přesností 1,4 dB (1KHz) zakoupeném z prostředků Specifického výzkumu VUT FAST v roce 2014 (FAST –S-14_2212, hlavní řešitel Ing. Radka Kantová).

SW pro stažení naměřených dat použit volně dostupný PeakTech 8005.

Z pohledu obecně teoretických metod je využito metod explorace, analýzy, korelační analýzy, syntézy, analogie, specifikace, predikce, případové studie, počítačové simulace a matematické statistiky a pravděpodobnosti, experimentálního měření dat a vyhodnocení výsledků.

Popis zvoleného postupu:

- Rešerše stávajícího stavu problematiky hluku, legislativa
- Definování množiny hluku vznikajícího při výstavbě
- Shromáždění hodnot akustického výkonu stavebních strojů L_{WA}
- Rozdělení strojů do vhodných skupin a kategorií dle typů strojů, technologií a hlukových dominancí
- Práce se statistickým souborem, určení středních hodnot a charakteristik variability dle rozdělení
- Definování kombinací pro běžné strojní sestavy a jejich akustického výkonu
- Definování vlivů a nastavování okrajových podmínek pro výpočet akustického tlaku L_{PA}
- Zjištění podílem definovaných vlivů na jedné investici, volba etalonu staveniště
- Práce s programem HLUK plus
- Vizualizace výstupů
- Vyčíslení vlivů, zobecnění zásad
- Ověření hodnot získaných z výpočtů, modelování a měření
- Definování spolehlivosti předpovědí
- Kompletace vypracovaných pomůcek, tabulek, přehledů zdrojových dat
- Návrh metodiky přístupu s vazbou na vypracované podklady

3 Analýza současného stavu problematiky, definování rámce legislativních, fyzikálních, zdravotnických a stavebně technických dat

V současnosti patří hluk mezi škodliviny ovlivňující pracovní a životní prostředí člověka. Proti vysoké úrovni hluku se lidé brání věcně a legislativně, anebo za něj platí roztěkaností, bolestmi hlavy nebo špatným spánkem, nemocemi nervového a cévního systému. Výskyt těchto nemocí snižuje výkonnost jednotlivců a v konečném důsledku i tvorbu hrubého domácího produktu. Tyto ztráty dokonce byly vyčísleny a odhadují se na 1,7,-2,0% HDP. [19]

Vzhledem ke stále se zvyšující intenzitě těchto projevů a výsledkům medicínských výzkumů začala být tato záležitost monitorována a byly definovány hranice těchto nežádoucích zvuků (hluku) pro tzv. vnitřní chráněné prostory (tedy uvnitř budov), pro venkovní chráněné prostory a také pro pracoviště. Snahou je eliminovat nepříznivé působení hluku na lidský organismus. [2]

Rozsáhlé se hlukem a jejími limity zabývá stavitelství dopravní, kde se intenzivně modeluje vliv hluku z dopravy, z provozu silnic a dálnic. Je kladen důraz na splnění limitů pro provoz letišť. V pozemním stavitelství je problematika řešena široce v rámci stavební fyziky – akustiky vnitřního prostředí budov, kde hovoříme o zajištění tzv. akustické pohody interiéru. Zde jsou poznatky poměrně široké a literatura k tomuto tématu dostupná, problematice se věnuje mnoho odborníků, stejně tak jako oblasti rizik na pracovištích, kde je podrobně zkoumán hluk i vibrace. Je také v praxi důsledně přispěvek hluku v území pro povolování nové výstavby, tedy hluk vznikající dlouhodobým užíváním stavby nebo provozu (výroby, lomy).

Poměrně méně je řešena problematika při výstavbě, staveništní hluk neboli hluk ze stavební činnosti. Legislativa sice limity pro staveništní hluk samostatně určuje, ale jejich překračování při náročnějších technologiích výstavby je vcelku běžnou záležitostí, která obvykle končí výjezdem městské či státní policie na místo staveniště, udělováním pokut a v krajním případě zastavením stavby. Objevují se již i poměrně časté soudní spory o ušlé zisky v případě znevýhodnění podnikatelských subjektů v sousedství výstavby.

Povinností provozovatele zdroje hluku a vibrací je pak podle zákona technicky či organizačně zajistit, aby jím provozované zařízení dané limity splňovalo. Tato povinnost se na staveništních týká dodavatele stavby. Hluk ze staveništního provozu ovlivňuje zdravotní stav všech pracovníků zdržujících se v prostoru stavby (hlavní dodavatel, subdodavatelé.....), ale zejména obyvatele žijící v blízkosti stavby. V rámci stavebně technologické přípravy se budoucí rizika hluku při realizaci stavby řeší okrajově, dodavatelské firmy nemají dostatečné informace o akustických výkonech strojů a SW nástroje k modelování a predikci hluku. Pokud potřebují certifikované posouzení, zadají u akustické laboratoře hlukovou studii. Tu lze vypracovat až v takové fázi přípravy projektu, kdy je známe přesné nasazení strojů a existuje podrobný časový plán výstavby.

Z hlediska hluku ze stavební činnosti se budeme zabývat oblastí venkovních chráněných prostor staveb, tedy mírou hluku, který má vyčíslenu hodnotu v 0,5 m až 2 m před fasádou chráněného objektu. Pro hodnocení hluku v chráněném venkovním prostoru staveb jsou hodnotící kritéria reprezentována hladinou akustického tlaku zvuku dopadajícího na fasádu posuzované stavby a představení měřícího bodu před fasádu eliminuje odraz od měřené fasády. [7] Jedná se o červenou linii obr. č. 3.1.1.

3.1 Platná legislativa

Problematika hluku ze stavební činnosti spadá do oblasti ekologie, obecně hluku a jeho dopadu na zdraví, jeho měření do oblasti technických norem a metodik a jeho zdroje do legislativní oblasti vztahující se k výrobě, dovozu a užívání stavební mechanizace. Vztahující se legislativa je široká, důležitější informace poskytuje Zákon č. 258/2000 Sb. [1] a 309/2006 Sb., Vyhláška č. 268/2009 Sb. [9], Nařízení vlády č. 148/2006 Sb., ČSN ISO 1996 (01 16 21): Akustika – Popis, měření a hodnocení hluku prostředí [4], Nařízení vlády č. 9/2002 Sb., ČSN ISO 6395 [6], Nařízení vlády č. 9/2002 Sb. a Směrnice Rady 89/391/EHS 28, Směrnice 2003/10/ES 29, Směrnice Rady 89/656/ES 30, směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES, Směrnice evropského Parlamentu a Rady 2000/14/ES [3], má vliv oblast hodnocení staveb a certifikace LEED, BREEAM. Za nejdůležitější pro danou oblast však lze uvést Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [2] ve znění dodatku Nařízení vlády č. 217/2016 Sb. a Metodický návod hlavního hygienika České republiky 62545/2010-OVZ-32.3-1.1.2010. [7]

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. [2], platné od srpna 2011 *o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací* zpracovává příslušné předpisy Evropské unie a upravuje hygienické limity hluku a vibrací na pracovištích, způsob jejich zjišťování a hodnocení, stanovuje také minimální rozsah opatření k ochraně zdraví zaměstnance a určuje jednotlivě podrobně:

- hygienické limity hluku a vibrací na pracovištích, způsob jejich zjišťování a hodnocení, minimální rozsah opatření k ochraně zdraví zaměstnance,
- hygienické limity hluku pro chráněný venkovní prostor, chráněné venkovní prostory staveb a chráněné vnitřní prostory staveb,
- hygienické limity vibrací pro chráněné vnitřní prostory staveb,
- způsob měření a hodnocení hluku a vibrací pro denní a noční dobu.



Obr. 3.1.1 Rozlišení chráněných prostor v souladu s NV č. 272/2011: chráněný vnitřní prostor staveb – fialová, chráněný venkovní prostor – zelená, chráněný venkovní prostor staveb – červená. [13]

3.2 Základní veličiny pro modelování hluku z výstavby

Akustický tlak: p [Pa]
 Akustický výkon: P [W]
 Intenzita zvuku: I [W/m^2]
 Hladina hluku: $A - L_A$ [Db (A)]
 Maximální hladina hluku: $A - L_{A\max}$ [Db (A)]
 Ekvivalentní hladina hluku: L_{Aeq} [Db (A)]
 Ekvivalentní hladina hluku místa příjmu měření: $L_{Aeq,MP}$ [Db (A)]
 Akustická energie α
Hladina akustického tlaku: L_{pA} [Db]
Hladina akustického výkonu: L_{WA} [Db]

3.3 Stávající režimy kontroly stavebního hluku

Povinnosti stavebníka, resp. dodavatele stavby, stanoví zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví který v § 30 odst. 1 stanoví, že osoba, která používá, případně provozuje stroje a zařízení, které jsou zdrojem hluku nebo vibrací, jejichž provozem vzniká hluk, je povinna technickými, organizačními a dalšími opatřeními v rozsahu stanoveném tímto zákonem a prováděcím právním předpisem zajistit, aby hluk nepřekračoval hygienické limity upravené prováděcím právním předpisem pro chráněný venkovní prostor, stejně tak jako na chráněné vnitřní prostory staveb a chráněné venkovní prostory staveb, a aby se zabránilo nadlimitnímu přenosu vibrací na fyzické osoby. Povinován je tím zhotovitel stavby, do záležitosti kontrol a vyjadřování je zapojen také Stavební úřad, Státní stavební dohled, Krajská hygienická stanice a zdravotní ústav, Veřejný ochránce práv, v mnoha případech i Soud.

Stanovisko Nejvyššího správního soudu

Průlomovým je stanovisko Nejvyššího správního soudu, kde se jeví jako precedentní rozhodnutí č.9As28/2012-129 NSS ČR, kde je řečeno, že **“V území nadlimitně zatíženém hlukem se nesmí zhoršit novým investičním záměrem hluková situace ani o 0,1 dB”**.

Tímto stanoviskem se propojuje oddělená kategorizace hluku z užívání staveb a z výstavby.

Stavebně technologická příprava dodavatelů

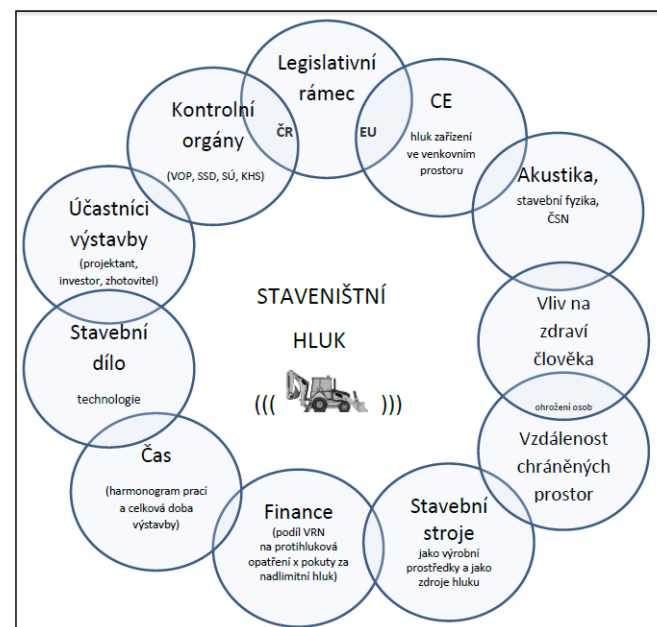
Aby mohla stavební firma při výkonu provozní činnosti prokázat podmínky stavebního povolení a předešla stížnostem obyvatelstva z okolí a následným zásahům výše uvedených kontrolních a sankčních režimů, měla by vždy hlukové hledisko zohledňovat. Ve firmách nebývá k dispozici interní mechanismus, například SW podpora, ve které by bylo možné jednoduše predikovat hluk na budoucí zakázce, v případě, že je požadována akustická studie KHS, je zadána akustické laboratoři.

3.4 Závěr k současnému stavu problematiky se zaměřením na hluk z výstavby

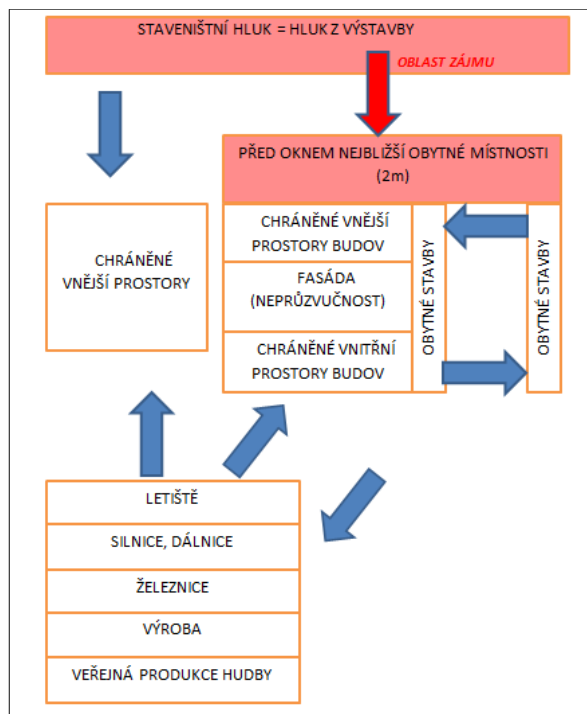
Hluk z výstavby (je užíván pojem i stavební hluk a hluk ze stavební činnosti) vznikající použitím zvolené mechanizace je jednou z množin hlukové zátěže obyvatelstva. Výše uvedená legislativa a akustika mapuje problematiku v širokém záběru. Konkrétně pro hluk z výstavby jsou v nařízení vlády č. 272/2011 Sb., jsou definovány limity a korekce dle tab. č. 3.4.1. [2]

tab.č.: 3.4.1 Limity a korekce pro hluk z výstavby [2]

základní limity	L_{Aeq} pro denní dobu (06-22 h)	50 dB
	L_{Aeq} pro noční dobu (22-06 h):	40 dB
korekce	Posuzovaná doba od 06 do 07 h	+ 10 dB
	Posuzovaná doba od 07 do 21 h	+ 15 dB
	Posuzovaná doba od 21 do 22 h	+ 10 dB
	Posuzovaná doba od 22 do 06 h	+ 5 dB



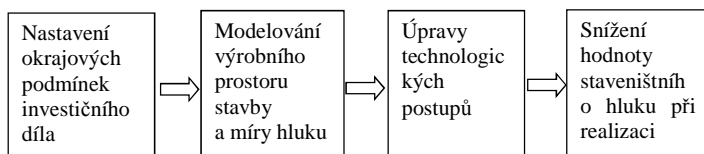
Obf. 3.4.1 Začlenění problematiky stavebního hluku, dotčené oblasti problematiky [©kantova.r@fce.vutbr.cz]



Obr. 3.4.2 Definování oblastí druhů hluku a oblastí dopadu, červeně oblast zkoumané problematiky hluku z výstavby [©kantova.r@fce.vutbr.cz]

4 Návrh metodiky pro posuzování hluku z výstavby

Jestliže máme zařazenu množinu staveništního hluku technicky i legislativně, můžeme přistoupit k vlastnímu posuzování. Cílem je snižování hodnoty staveništního hluku pomocí modelování výrobního prostoru stavby a úprav technologických postupů při výstavbě ve smyslu obr. 4.1.



Obr. 4.1 Snižování hodnoty staveništního hluku pomocí modelování výrobního prostoru stavby a úprav technologických postupů při výstavbě [©kantova.r@fce.vutbr.cz]

4.1 Posuzování ve fázi výrobní přípravy stavby

Aby stavební výroba nepřekračovala povolenou hladinu hluku, musí dodavatel znát limitní hlukové hodnoty a umět určit sestavu strojů ve smyslu zdrojů hluku. Stavební práce musí provádět pouze v povolené pracovní době a učinit opatření pro zajištění hlukové hladiny ze stavební činnosti.

Zařazením požadavku na hlukovou zátěž výstavby se stává hluk jedním z činitelů výrobního procesu, stejně jako pracovní síly, prostředky a předměty a lze s ním také v optimalizačních návrzích takto pracovat. Pohlédneme-li na přípravu realizace stavby z tohoto pohledu, můžeme volit postupy, které sníží hlučnost výstavby.

Je možno volit různé stroje s různou hlučností či jejich kombinace, lze je v rámci zařízení staveniště umísťovat různě s ohledem na řazení dílčích stavebních procesů, prostorovou a časovou strukturu výstavby. Stejně dílo lze docílit různými stavebně technologickými postupy (například souběžná, postupná, proudová výstavba). Zde mohou některé vhodně umístěné objekty staveniště či objekty výstavby plnit funkci akustické zábrany, což může být v některých případech jediným řešením pro možnost vyhovění požadavku na venkovní chráněné prostory.

Míra hlučnosti staveništních strojů pro konkrétní stavby může být řešena buď předem, ve fázi předvýrobní v projektové dokumentaci, stanovením výpočtových hodnot. Ve fázi výrobní lze hodnoty ověřovat vlastním měřením.

Včasnými výpočty a modelováním budoucí hlučnosti staveniště bude zabezpečeno přesnější zhodnocení reálné hlukové zátěže konkrétního staveniště již ve výrobní a předvýrobní přípravě stavby.


Pokud existuje možnost výpočtů a vizualizace hluku pomocí hlukových studií v podpůrném SW, je to výhodou. Pro další řešení vybrán programový produkt Hluk plus pro možnost modelování hlukových studií v režimu studentských licencí.

4.2 Návod pro obsluhu SW Hluk plus pro specifiká modelování hluku ze stavební činnosti

Cílem modelování i měření je optimální zhodnocení budoucí nebo současné hladiny akustického tlaku zvuku v místě měření.

Důležitá je tedy definice: **Pro hodnocení hluku v chráněném venkovním prostoru staveb jsou hodnotící kritéria reprezentována hladinou akustického tlaku zvuku dopadajícího na fasádu posuzované stavby.** [15]

Z možností uvedeného SW pro modelování staveništního hluku využijeme jen některé funkce. Pro jednoznačnější určení měřících míst se často pojem chráněný venkovní prostor staveb označuje jako chráněná fasáda budov.

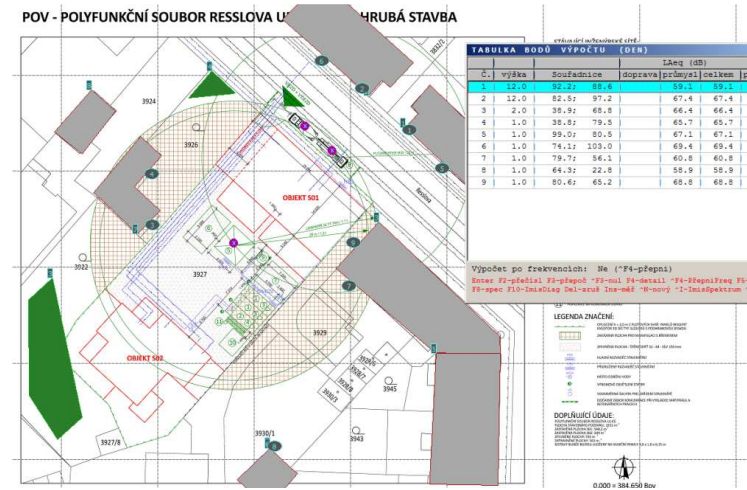
Krok	Forma	Podklad	Výstup
1 Otevření SW produktu 	Soubor Ulož jako ZAD	SW licence JpSoft s.r.o.	Založení případové studie s názvem identifikačním investiční akcí
2 Vyber a vložením bitmapových podkladů	BMP, PDF, DWG, převáděno do JPG	Mapa, Výkres situace stavby Výkres zařízení staveniště Výkres dispozice realizovaného objektu Uloženo v PC	Vizualizace prostředí na obrazovce v měřítku podkladu
3 Kontrola nastaveného měřítka	Měření vzdálenosti – spodní ovládací panel	Kota s definovaným rozměrem v podkladu	Potvrzení rozměrového sprázení podkladu a SW
4 Vymesení stávajících objektů: - objekty s chráněnou fasádou = místa příjmu - objekty mezilehlé a s fasádami orientovanými přes volné pole ke zdroji hluku	Zadavání Dům Budova Obecný Pravouhly (využití dle tvaru půdorysu)	Spražený podklad výkresu či mapy Pro výšky sousedících objektů mapy.cz 3D pohled mapy.cz, případně Nástroje měření vzdálenosti a plochy	Nastavování okrajových podmínek pro model: Vnesení objektů, na kterých proběhne měření a objektů které maji vliv na akustickou situaci míst měření
5 Vymesení pohltivých ploch: -keře, -stromy, -pole	Zadavání Zeleň -výška	Spražený podklad výkresu či mapy Pro výšky sousedících objektů mapy.cz 3D pohled mapy.cz, případně Nástroje měření vzdálenosti a plochy	Nastavování okrajových podmínek pro model: Vnesení pohltivých objektů, které mají vliv na akustickou situaci míst měření
6 Úprava terénu a kontrola nastavení v řezu	Zadavání Násep/ Zařez. Terén Vrstevnice + výška	Spražený podklad výkresu či mapy Řezy budoucím objektem a údaj o úrovni základové spáry Informace z technických zpráv	Nastavování okrajových podmínek pro model: Vnesení úrovní dílčích ploch terénů, které mají vliv na akustickou situaci míst měření

Obr.č.: 4.2.1.Ukázka z návodu pro obsluhu Hluk plus pro specifika modelování hluku ze stavební činnosti
[@kantova.r@fce.vutbr.cz]

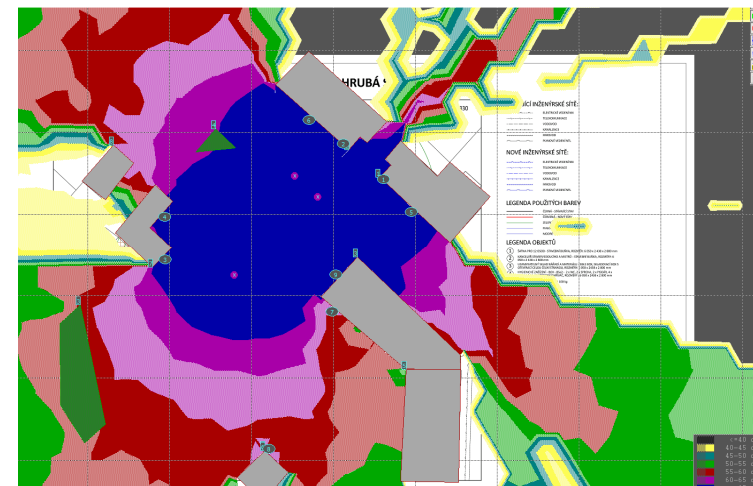
4.3 Příklad modelování hodnot akustických výkonů strojních sestav v případové studii

V souladu s návodem dle obr.č. 4.2.1 níže ukázka modelování pro konkrétní zadání případové studie. Prvním předpokladem je znalost prostředí, není-li jiná možnost, poslouží mapa se sklopením pro odečet existence, půdorysných a výškových rozměrů akusticky významných prvků. Abychom mohli pracovat, musíme znát hodnotu akustického výkonu nebo hladinu akustického tlaku v určité vzdálenosti pro posuzovaný zdroj, může být uveden jak akustický výkon stroje L_{wA} , tak akustický tlak L_{pA} . Obvykle bývají na technických listech strojů uvedeny dvě hodnoty, hloučnosť vnitřní a vnější. Hloučnosť vnitřní je hloučnosť v kabině řidiče, kterou je nutno u stavebních strojů inzerovat v souvislosti s požadavky na tzv. pracoviště. Pro účely

staveništního hluku se jedná o odečet hodnoty hloučnosti vnější. Pak lze modelovat, viz.obr.č. 4.3.1, 4.3.2 a 4.3.3



Obr. 4.3.1 Vložené měřicí body, objekty a zdroje do SW podpory s tabulkou naměřených hodnot



Obr. 4.3.2 Vizualizace izofon případové studie situace z obr.č. 4.3.1 - funkce Pásma zobraz

4.4 Možnosti snižování staveništního hluku

Výběr stavebních strojů

Trh nabízí širokou škálu strojů, jejich výběr pro danou investici je dán zejména ekonomickými možnostmi a dostupností daného stroje. V případě splnění těchto limit pak výběr postupuje dle technických požadavků na pracovní nástroj stroje, jeho kapacitu, výkon nebo například podvozek, individuálně dle potřeby. Při výběru stroje je nutné zohledňovat jeho hlukovou dominanci, v případě, že bychom platili drahý stroj jen proto, abychom docílili nejvyššího výkonu pro daný proces, se nám neúročí, pokud bude jeho hluk nadlimitní a stroj bude mít omezenou dobu práce pouze na část směny. Pak by bylo výhodnější vzít stroj méně výkonný a levnější. Toto posouzení je nutné prioritně zahrnout do optimalizace při výběru strojů.

Obsluha stavebních strojů

Pokud u oblastí s potencialem rizikem nadlimitního hluku ze stavební činnosti máme vyřešen problém s technickými parametry a optimálním výkonem, je třeba také vyžadovat na staveništních průběžnou technickou péči o stroje. Zejména v oblastech měst je potřeba pracovat s vybranými mechanismy v první polovině jejich životnosti a nepracovat zde se stroji, které nemají řádně seřízené motory. Nutné je žádat protihluková opatření strojů u výrobců, jedná se o odhlučnění motoru nebo tlumičů, u beranidel lze požadovat přídatné zvukoizolační opláštění, takováto mechanizace je inzerována jako tzv. odhlučnění. Je třeba dodržovat technickou péči o stroje, jako je údržba, provoz, opravy. Zejména seřizovat vstřikovací trysky motorů, palivového a vstřikovacího čerpadla, kontrolovat čističe nasávaného vzduchu.

Možnosti střídavého zapojení strojů a strojních sestav

Jedná se o možnosti vyřazování jednotlivých strojů ze souběžné činnosti s ostatními stroji, pokud příspěvek tohoto stroje je důvodem překročení hlukové limity. Toto střídání musí být technologicky možné. Jako příklad lze uvést možnou strojní sestavu pro snímání ornice, kdy pro větší objemy snímání lze mít na místě v chodu jak dozer, tak nakladač, tak nákladní auto. V případě potřeby zde však není jejich činnost v souběžném chodu bezpodmínečně nutná a lze jejich činnost řadit postupně. Může pracovat sám dozer, až sejmě ornici, nastupuje nakladač, až naloží nákladní auto, pak teprve auto odjíždí. V časovém modelování se tyto vazby označují jako vazba K-Z, tedy KONEC – ZACÁTEK, konec jedné činnosti podmiňuje začátek jiné. Pro účely předvýrobní a výrobní přípravy se s časovým plánováním běžně pracuje a v podpůrných SW produktech, jako je SW CONTEC nebo Microsoft Projekt, lze toto zohlednit. Je potřeba si uvědomit, že to, že stroje na staveništi „jsou“, neznamená ještě, že také „souběžně pracují“, v případě uvedeného nákladního auta hraje roli zapnutí motoru.

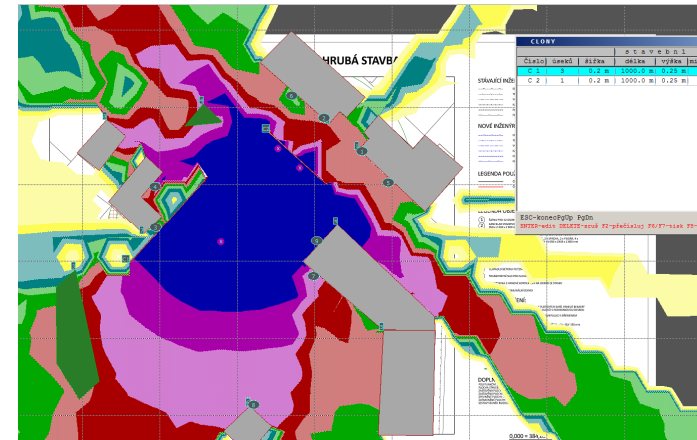
Změny technologických procesů

Stejně stavební dílo lze získat různými technologickými postupy. Výsledný železobetonový skelet může být například získán jako montovaný nebo jako monolitický, jedná se o různé technologie s různými potřebnými stavebními stroji. Je ale třeba se zaměřovat na akusticky dominantní procesy, zejména těžby zemin, kde je možné vybírat z celé řady strojních kombinací a také procesy při realizaci hlubinných základů. Tady lze nahradit jednu technologii jinou, například nahrazení beraněných pilot vrtanými.

Aktivní opatření na cestách paprsku zvuku, protihluková stěna

Aktivním opatřením je pořízení cílených konstrukcí, jako je umělá protihluková stěna. Tyto

opatření jsou však již samostatně financována a v případě, že nebyly plánovány, snižují dodavateli přepokládaný zisk. S výhodou lze jako protihlukovou clonu využít i vhodně zvolené oplocení staveniště, nutností funkčnosti je dostatečná kompaktnost. V konstrukcích clon nemají být otevřené otvory. Vložení clony do studie a efekt útlumu je patrný z obr.č. 4.4.1.



Obr. 4.4.1 Vizualizace pásem případové studie z obr.č. 4.3.1 s vloženými clonami po editaci s tabulkou clon

Pasivní opatření na cestách paprsku zvuku

Není-li k dispozici stroj s nízkou hlučností, je možné zvolit pasivní opatření, překážku. Při šíření může hluk překážkou pronikat, být odražen, pohlcen, nebo překážku obejít. Proto pro docílení účinnosti zvolené překážky nutno provést výpočet či modelování celé situace v kontextu zdroje hluku i okolního terénu. Akusticky účinnou překážkou může být terénní zářez, zemní val, opěrná zeď, pás keřů, linie stromů. Mohou to být i staveništní skládky materiálů či dílců. Stejně tak lze vytvářením plánovaných akustických zemních valů pracovat s objemy vytěžených hornin a v průběhu výstavby vyrovnávat bilance násypů a výkopů. Je však třeba brát v úvahu omezení jejich rozměrů vyplývajících z technických a bezpečnostních norem či ze smyslu účelu dodávky.

5 Stanovení hodnot hlučnosti strojů a strojních sestav

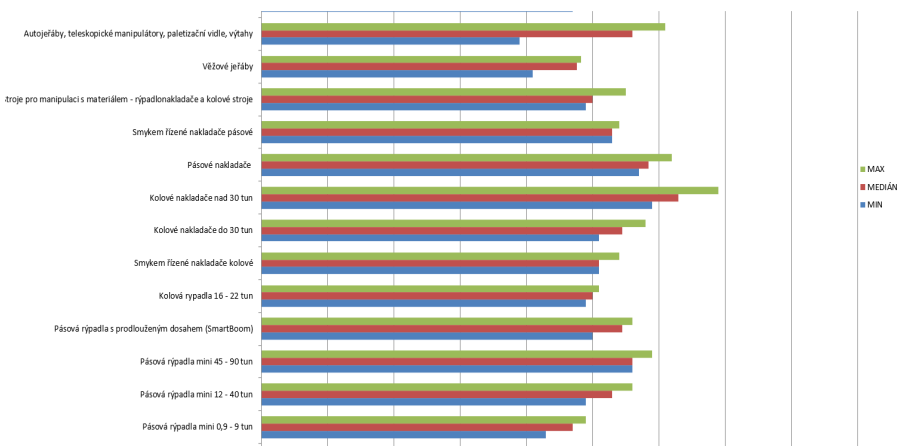
5.1 Pořízení dat akustických výkonů strojů

Pro účely obeznámení, možnosti odečtu, výpočtů a zejména modelování co nejpřesnějších případových studií jsem shromáždila přes **600 hodnot akustického výkonu strojů L_{WA}** uvedených v přílohách práce. Tyto stroje jsem zařadila do skupin dle typologie výrobních řad – podskupiny **modré** množiny a do skupin dle jak typologie výrobních řad, tak i využití pro procesy – označeno jako **hnědé** množiny.

HLADINA AKUSTICKÉHO VÝKONU STAVEBNÍCH STROJŮ

S VYHODNOCENÍM STŘEDNÍ HODNOTY SOUBORŮ A CHARAKTERISTIK VARIABILITY

Podskupina	Hladina akustického výkonu L_{WA} (dB) ve 10-12W							
	MIN	MEDIÁN	MAX	PRŮMĚR	MODUS	KV.ODCH.	SM.ODCH.	V.SM.ODCH.
Vrtné soupravy	103	112	116	111,32	112	3,00	3,39	3,45
Barandla	115	116	118	116,40	115,118	1,50	1,36	1,52
Jádrové vrtání	94	102	113	101,70	106	4,50	5,88	6,20
Kombinované stroje	103	124	127	121,04	124,126	4,00	7,05	7,29
Závěsná hydraulická kladiva	114	118,5	126	119,30	122	2,50	3,49	3,68
Demoliční pneumatická kladiva ruční	104	105	111	106,68	105	3,50	2,83	2,91
Demoliční kladiva ruční hydraulická a benzínová	106	107	110	107,69	106	1,50	1,49	1,55
Vrtací kladiva a rozbrušovací pily	98	105	119	106,85	105	3,00	5,07	6,49
Pásové dozery	109	111	115	111,58	111	1,50	1,60	1,64
Kolové dozery	109	111	115	111,71	111,113	1,75	1,91	2,06
Kompaktory	109	110,5	113	110,83	110	1,00	1,34	1,47
Bez rozšíření - používané v akustických studiích	101	104	107	103,69	104	1,75	1,77	1,84
Pásová rypadla mini 0,9 - 9 tun	93	97	99	96,60	93,96,97,98,99	2,00	2,06	2,30
Pásová rypadla mini 12 - 40 tun	99	103	106	102,43	99,104	2,50	2,46	2,52
Pásová rypadla mini 45 - 90 tun	106	106	109	107,00	106	1,25	1,26	1,41
Pásová rypadla s prodlouženým dosahem (SmartBoom)	100	104,5	106	103,75	106	2,25	2,49	2,87
Kolová rypadla 16 - 22 tun	99	100	101	99,71	99,1	1,00	0,70	0,76
Smykem řízené nakladače kolové	101	101	104	101,63	101	0,50	0,99	1,06
Kolové nakladače do 30 tun	101	104,5	108	103,90	101	2,25	2,41	2,47
Kolové nakladače nad 30 tun	109	113	119	113,21	110,113	3,00	2,91	3,02
Pásové nakladače	107	108,5	112	109,00	107,108,109,112	1,50	1,87	2,16
Smykem řízené nakladače národné	104	104	104	104,33	104	0,50	0,46	0,49



Obr. 5.2.3 Ukázka přehledu vyhodnocení střední hodnoty souborů a charakteristik variability podskupin

5.3 Zásady pro určení strojních sestav

Dle obr.č. 5.2.2 a 5.2.3 lze předvídat hluk stroje ve dvou úrovních, skupiny nebo podskupiny, neznáme-li přesný stavební stroj, který se na staveništi bude pohybovat. Stroje však pracují nejen samostatně, ale také ve skupinách dle technologií využívaných na stavbách.

Pokud cílíme na kombinace strojů ve strojních sestavách hlukově dominantních a za fyzikálního předpokladu, že lze skupinu strojů považovat za jeden zdroj, pokud vzdálenost mezi stroji je menší než 1/10 vzdálenosti od vyšetřovaného místa, lze definovat stěžejní stavební procesy hrubé spodní a hrubé vrchní stavby a k nim strojní sestavy takto:

- STROJNÍ SESTAVA PRO HLUBINNÉ ZAKLÁDÁNÍ, PILOTÁŽ S ODVOZEM VÝKOPKU
- STROJNÍ SESTAVA PRO TĚŽENÍ ZEMIN - DOZEROVÁ TECHNOLOGIE
- STROJNÍ SESTAVA PRO TĚŽENÍ ZEMIN - RYPADLOVÁ TECHNOLOGIE - TĚŽENÍ JÁMY
- STROJNÍ SESTAVA PRO TĚŽENÍ ZEMIN - RYPADLOVÁ TECHNOLOGIE - TĚŽENÍ RÝH
- STROJNÍ SESTAVA PRO BETONÁŽ ZÁKLADŮ - TECHNOLOGIE PLOŠNÝCH ZÁKLADŮ
- TECHNOLOGIE PLOŠNÝCH ZÁKLADŮ - TECHNOLOGIE BETONÁŽE ZÁKLADOVÝCH PASŮ PŘI PROUDOVÉ VÝSTAVBĚ
- STROJNÍ SESTAVA PRO BETONÁŽ HRUBÉ VRCHNÍ STAVBY - TECHNOLOGIE BETONÁŽE BADIÍ
- STROJNÍ SESTAVA PRO BETONÁŽ HRUBÉ VRCHNÍ STAVBY - TECHNOLOGIE BETONÁŽE ČERPADLEM
- STROJNÍ SESTAVA PRO BETONÁŽ HRUBÉ VRCHNÍ STAVBY - TECHNOLOGIE ZDĚNÍ

Pro stanovení těchto skupin je důležitá nejen vazba stavebně technologická, ale také souběžné zapojení ve smyslu souběžné práce z hlediska příspěvků hluku.

Nebyly řešeny kombinace strojů, u kterých není předpokládána souvislost z hlediska blízkosti na staveništi a kombinace pro práce dokončovací, kdy jsou kombinace nezobecnitelné.

K diskuzi je také zapojení nákladních automobilů do strojních sestav obecně. Nákladní automobil na staveništi obvykle vypíná motor a pak bychom jej neměli pro modelování uvažovat. V případě hledání nejvyšší kritické hodnoty (pojždění se zapnutým motorem vedle rypadla atd.) by bylo nutno řešit přesné technologické postupy a směřovalo by řešení k přímé případové studii.

Pro variantu označenou jako proudová výstavba je modelována mezní situace, kdy souběžně hlukově zapojené stroje nejsou vázány přímo technologicky, ale budou společně pracovat v jeden okamžik, neboť u betonářských procesů se pracuje po záběrech, kdy na jednom záběru probíhá betonáž a na jiném se pracuje s osazováním bednění či armatury. Přitom tyto pracovní záběry mohou mít blízkost postavení stavebních strojů odpovídající možnému přepočtu hodnot na celkové L_{WA} skupiny.

Pro skupiny těchto strojů v uvedených strojních sestavách je uvedena mediánová hodnota použita pro výpočet hlukové kapacity strojní sestavy dle obr.č.5.3.1.

Přepočet proveden dle vzorce z obr. 5.3.2. cíleně vytvořeným interaktivním programovacím polem, které může k těmto účelům sloužit i dalším zájemcům o výslednou hodnotu L_{WA} pro souběžně pracující stroje.

HLADINA AKUSTICKÉHO VÝKONU STROJNÍCH SESTAV STAVEBNÍCH STROJŮ

2. STROJNÍ SESTAVA PRO TĚŽENÍ ZEMIN DOZEROVÁ TECHNOLOGIE

STROJNÍ SESTAVA	Hladina akustického výkonu L_{WA} (dB) ve 10-12W											
	MIN	KVARTIL Q1	SPROVNÍ F.	MEDIAN	HORNÍ F.	KVARTIL Q3	MAX	PROMĚR	MODUS	KV.ODCH.	SM.ODCH.	V.SM.ODCH.
Stroje ve stejné sestavě	109	110,00	109,50	111	112,50	113,00	113	111,47	111	3,50	3,66	3,68
DOZERY	93	101,00	101,25	104	106,75	106,50	119	103,93	104	2,76	4,41	4,44
RYPADLA A NAKLADÁČE	86	100,50	108,75	119	129,25	121,00	121	111,08	119	10,25	10,30	10,51
NAKLADNÍ AUTOMOBILY, ČERPADLA, DOMCHÁVAČE												
S. SESTAVA JAKO JEDEN ZDROJ HLUKU	109,13	110,93	112,49	119,76	129,36	121,77	123,75	114,67	119,76			
ΔL_{WA} k hodnotě mediánu strojní sestavy jako jednoho zdroje hluku	10,63	8,83	7,27	0	9,6	2,01	3,99	5,09	0			

$$L_v = 10 \lg \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right)$$

STROJNÍ SESTAVA	Hladina akustického výkonu L_{WA} (dB) ve 10-12W											
	MIN	KVARTIL Q1	SPROVNÍ F.	MEDIAN	HORNÍ F.	KVARTIL Q3	MAX	PROMĚR	MODUS	KV.ODCH.	SM.ODCH.	V.SM.ODCH.
Stroje ve stejné sestavě	109	110,00	109,50	111	112,50	113,00	113	111,58	111	3,50	3,60	3,64
Přísuvy dozer	101	101,00	102,25	104,5	106,75	105,50	108	103,90	101	2,25	2,41	2,47
ROVNĚŽNĚ NAKLADÁČE, ČERPADLA, DOMCHÁVAČE	101	101,00	100,50	101	101,50	102,00	104	101,63	101	0,50	0,99	1,06
S. SESTAVA JAKO JEDEN ZDROJ HLUKU	110,20	110,96	110,69	112,24	113,79	113,09	116,01	112,62	111,79			
ΔL_{WA} k hodnotě mediánu strojní sestavy jako jednoho zdroje hluku	2,02	1,24	1,53	0	1,57	1,77	3,85	0,4	0,43			

STROJNÍ SESTAVA	Hladina akustického výkonu L_{WA} (dB) ve 10-12W											
	MIN	KVARTIL Q1	SPROVNÍ F.	MEDIAN	HORNÍ F.	KVARTIL Q3	MAX	PROMĚR	MODUS	KV.ODCH.	SM.ODCH.	V.SM.ODCH.
Stroje ve stejné sestavě	112	112,00	112,00	112	112,00	112,00	112	112,00	112	0	0	0
Přísuvy dozer Liebherr PR 744 Litronic, 185 kW, σ_r : 6-7,2 m ²	112	112,00	112,00	112	112,00	112,00	112	112,00	112	0	0	0
Kolový nakladač Caterpillar 964M XE, 222 kW, 2,3-9,2 m ²	105	105,00	105,00	105	105,00	105,00	105	105,00	105	0	0	0
Nákladní automobil T 915	86	86,00	86,00	86	86,00	86,00	86	86,00	86	0	0	0
S. SESTAVA JAKO JEDEN ZDROJ HLUKU	112,80	112,80	112,80	112,80	112,80	112,80	112,80	112,80	112,80	0	0	0

S. SESTAVA JAKO JEDEN ZDROJ HLUKU Z ÚROVNĚ SKUPIN	119,76	6,17
S. SESTAVA JAKO JEDEN ZDROJ HLUKU Z ÚROVNĚ PODSKUPIN	112,22	6,17
S. SESTAVA JAKO JEDEN ZDROJ HLUKU Z ÚROVNĚ STROJŮ	113,90	0

ΔL_{WA} (dB) skupin a podskupin k úrovni přesného výběru strojů	%
6,96	6,17
0	0



Model výpočtového pole:

Hodnota L	112	108	101
vzorec	$10^{\frac{112}{10}}$	$10^{\frac{108}{10}}$	$10^{\frac{101}{10}}$
L_{10}	158489319246	6206573448	12599294118
suma	234174307812		
log	11,36963921		
Celkem	113,6953926		

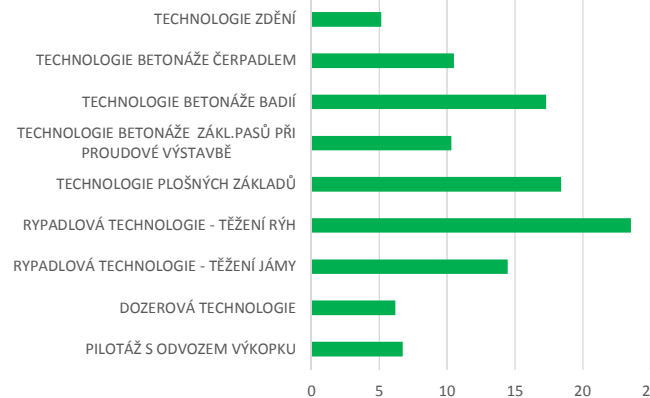
pro vzorec:

$$L_v = 10 \lg \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right)$$

Obr. 5.3.1 Ukázka výpočtu strojních sestav jako společného zdroje hluku a výpočtové okno L_{WA}

Pro stanovených 9 kombinací strojních sestav pro hlavní procesy hrubé stavby uvedené v kapitole 5.3. byly provedeny výpočty pro kombinace z úrovně skupiny, z úrovně podskupiny a z úrovně (do daných podskupin patřících) stavebních strojů v přímé kombinaci, následně stanoveny procentuální odchylky výsledků od nejpřesnější hodnoty L_{WA} získané konkrétní strojní sestavou, s výsledkem dle obr.č.5.3.2. a 5.3.3.

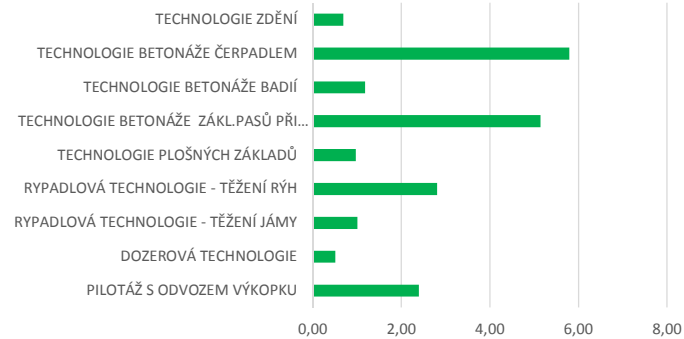
% ΔL_{WA} (dB) skupin k úrovni přesného výběru strojů



Obr. 5.3.2 Vyhodnocení přesnosti pro modelování z úrovně skupiny

Závěr: Vzhledem ke spolehlivosti předpovědi nelze se skupinami pracovat pro predikci hluku.

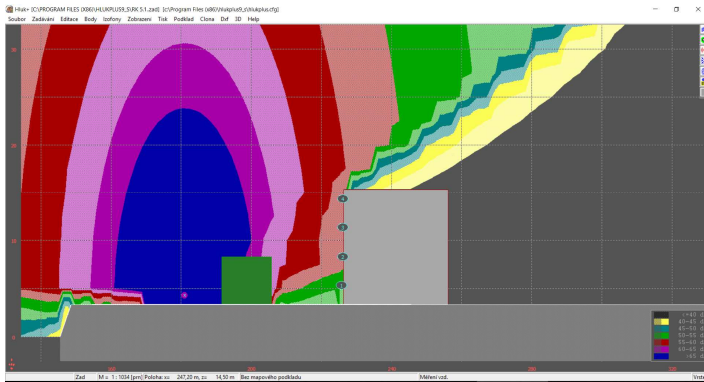
% ΔL_{WA} (dB) podskupin k úrovni přesného výběru strojů



Obr. 5.3.3 Vyhodnocení přesnosti pro modelování z úrovně podskupiny

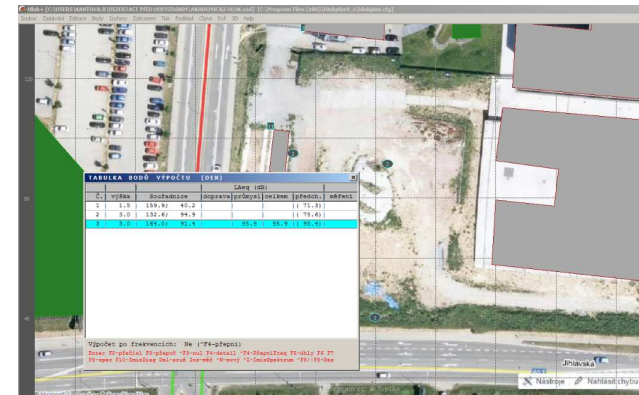
Závěr: Vzhledem ke spolehlivosti předpovědi do 6% lze s podskupinami pracovat pro predikci hluku.

6 Výpočtové modelování hluku, stanovení dílčích vlivů prostředí na akustickou situaci staveniště - etalon

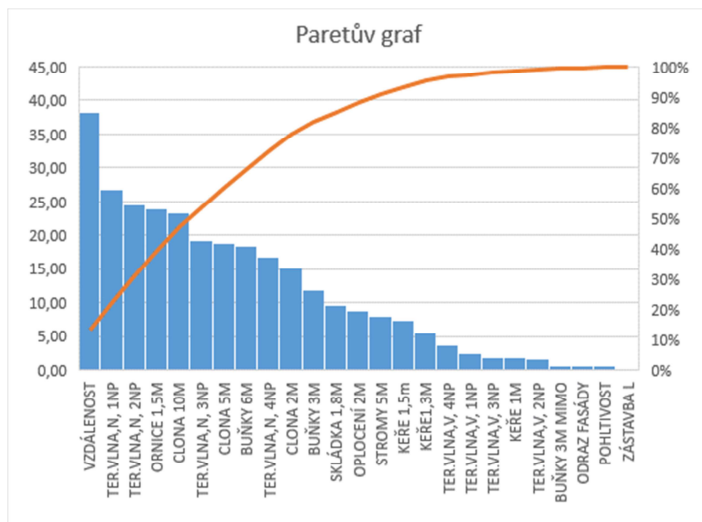


Obr. 6.1 Příklad vizualizovaného modelování - průběh izofon v řezu pro zdroj hluku 100 dB

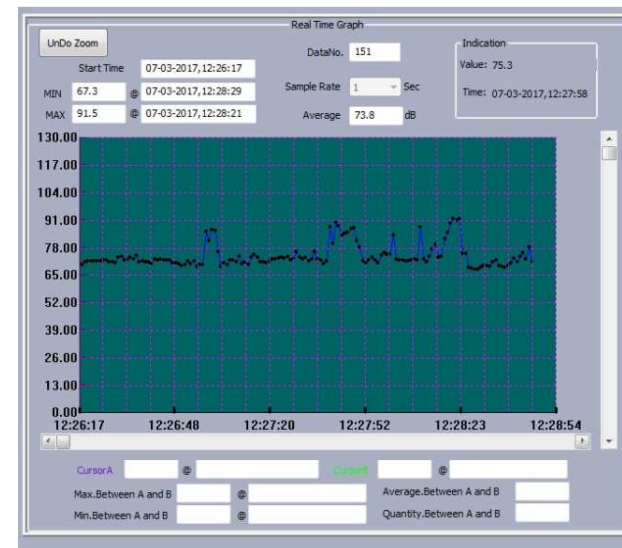
7 Experimentální měření hluku Campus Science Park Building



Obr. 7.1 Situace zadaná v SW podpoře Hluk plus se všemi měřeními body a s tabulkou hodnot



Obr. 6.2 Paretův graf vyhodnocení dílčích vlivů podmínek staveniště na přenos hluku



Obr. 7.2 Záznam měření hluku pro sestavu staveništních buněk



Obr. 7.3 Situace těžení - pilotážní souprava s umístěným hlukoměrem

Tab. 7.1 Tabulka vyhodnocení pilotovací soupravy BG 20H s L_{WA} : 112 dB

Pozice měření	Vzdálenost (m)	L_{PA} (dB)			Modelování Hluk plus
		PŘÍL. 2 pro Q1	PŘÍL. 3 pro Q2	Hodnoty z měření min / max / střed	
Bez zapojení BG 20H	-	-	-	62,7 / 76,5 / 70,0	-
Kostra stroje BG 20H	0,5	107,03	110,04	76,5 / 102,2 / 85,5	95,9
Vzdálenost od stroje v prostoru pilotáže	3,0	91,47	94,48	78,6 / 99,1 / 83,3	94,6
Buňkoviště	33,3	70,41	73,51	67,3 / 91,5 / 73,8	75,6
Ulice Jihlavská	50,5	67,04	70,04	68,9 / 86,1 / 74,6	71,3

V tabulce jsou označeny vzdálenosti, které byly při měření dodrženy, v modelu zadány a pro výpočet použity. Výsledky se vzájemně liší, u měření blízko zdroje odpovídají spíše hodnoty maxima, u vzdálenějších spíše hodnoty středu.

8 Podklady pro návrh specializované SW podpory pro predikci hluku při realizaci staveb

Dodavatelé staveb SW pro modelování hluku nemají k dispozici, používají je jen sofistikované akustické laboratoře a jejich využívání je velmi nákladné a složité na obsluhu. Jedním z cílů této práce je navrhnout podklady pro jednoduchý SW, který by byl dosažitelný pro běžné uživatele – účastníky výstavby, byl jednoduše ovladatelný a výstupy z něj by co nejpřesněji predikovaly hlukovou zátěž v okolí stavby. Včasným využitím tohoto produktu by se stavební firmy mohly vyhnout prodlevám v dodávkách staveb z důvodu překračování hygienických limitů a lépe navrhovat druhy strojů pro konkrétní investice. Založení programovaných tabulek Excel pro získání příloh této práce jak jednotlivě, tak v propojení s přehledem strojů s akustickými výkony vede pro další pokračování na daném tématu k tvorbě specializované SW podpory využitelné ve stavebních firmách. Pro využití nabízeného nástroje dle obr.č. 8.1. je třeba znovu zdůraznit, že stroje se považují za jeden zdroj hluku, pokud vzdálenost mezi stroji je menší než 1/10 vzdálenosti od vyšetřovaného místa.

Interaktivní výpočtové pole pro přepočítání hodnot hlukové kapacity strojní sestavy
 výpočet dle uvedeného vzorce pro zadání L_{WA} více souběžně pracujících strojů na hodnotu celkové L_{WA} strojní sestavy

Model výpočtového pole:	Hodnota L	112	108	101
střední	$10^{\frac{112-101}{10}}$	$10^{\frac{108-101}{10}}$	$10^{\frac{101-101}{10}}$	
L70	15480319246	6395973446	1268264118	
suma	234174307812			
log	11,36953925			
Celkem	113,6953925			

pro vzorec:

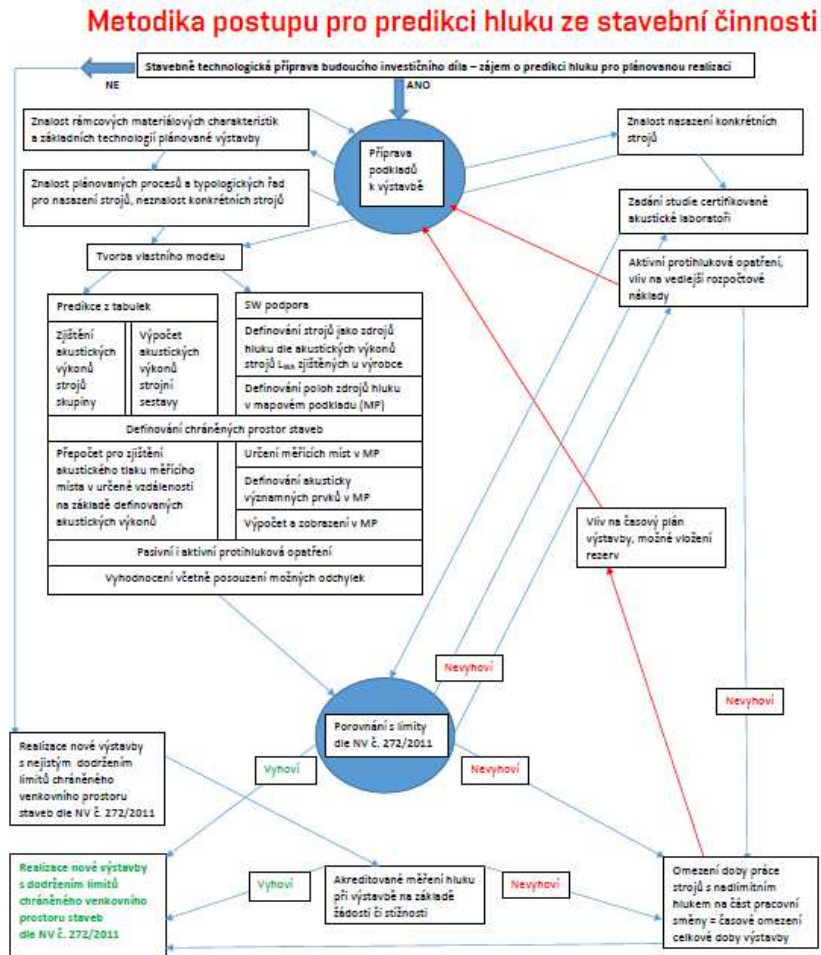
$$L_v = 10 \lg \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_n}{10}} \right)$$

HLADINA AKUSTICKÉHO VÝKONU STAVEBNÍCH STROJŮ		ZDROJE		Hladina akust. výkonu
SE STANOVENÍM STŘEDNÍ HODNOTY SOUBORŮ A CHARAKTERISTIK VARIABILITY				
STROJ - Typ, výrobce, druh, kapacita				
zařízení, stroje, vozidla, nástavby	J			$L_{WA}(dB)$ re 10 v N
STROJE PRO VRTÁNÍ A PILOTOVÁNÍ				Podskupiny skupiny

Obr. 8.1 Interaktivní výpočtové pole [©kantova.r@fce.vutbr.cz]

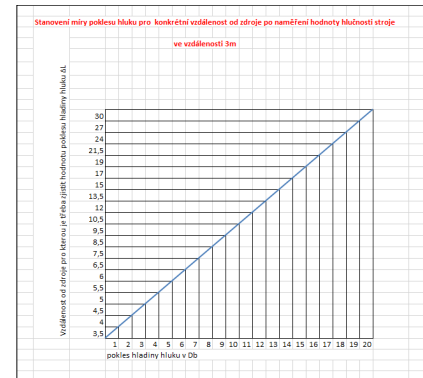
9 Metodické pokyny pro modelování a prognózu hluku ze stavební činnosti

Metodika postupu pro predikci hluku ze stavební činnosti ve fázi předvýrobní a výrobní přípravy stavby s nastavením vazeb uvedena na obr.č.9.1. Červeně označeny vazby důsledkové.



Obr. 9.1 Metodika pro modelování a prognózu hluku ze stavební činnosti [©kantova.r@fec.vutbr.cz]

9.1 Pomůcky pro uplatnění navržené metodiky



- 1 viz. PŘÍLOHA 1 - Návod pro obsluhu SW Hluk plus pro specifika modelování hluku ze stavební činnosti
- 2 viz. PŘÍLOHA 2 - Výpočet hladin akustického tlaku stavebních strojů; přepočtení L_{WA} na L_{pA} pro číselný směrůvosti $Q = 1$
- 3 viz. PŘÍLOHA 3 - Výpočet hladin akustického tlaku stavebních strojů; přepočtení L_{WA} na L_{pA} pro číselný směrůvosti $Q = 2$
- 4 viz. PŘÍLOHA 4 - Hladina akustického výkonu stavebních strojů se stanovením střední hodnoty souborů a charakteristik variability statistického souboru
- 5 viz. PŘÍLOHA 5 - Hladina akustického výkonu stavebních strojů se stanovením střední hodnoty souborů a charakteristik variability, přehled skupin a podskupin
- 6 viz. PŘÍLOHA 6 - Hladina akustického výkonu stavebních strojů se stanovením střední hodnoty souborů a charakteristik variability skupin, graf
- 7 viz. PŘÍLOHA 7 - Hladina akustického výkonu stavebních strojů se stanovením střední hodnoty souborů a charakteristik variability podskupin, graf
- 8 viz. PŘÍLOHA 8 - Hladina akustického výkonu strojních sestav, grafy
- 9 viz. PŘÍLOHA 9 - Stanovení míry dílčích vlivů na hodnotu hladiny akustického tlaku zvuku dopadajícího na fasádu posuzované stavby
- 10 viz. TEXTOVÁ ČÁST

Obr. 9.2.1 Ukázka pomůcky stanovení míry poklesu hluku pro konkrétní vzdálenost od zdroje po naměření hodnoty hlukosti stroje ve vzdálenosti 3 m a seznam vypracovaných tabulkových podpor v přílohách práce [©kantova.r@fec.vutbr.cz]

10 Závěr

Cílem práce bylo v souladu s potřebami ochrany veřejného zdraví před hlukem pro budoucí investiční díla umožnit lépe modelovat očekávané hodnoty hlukových ukazatelů a dalších skutečností, které rozhodují o hlukové zátěži exponovaných osob v chráněném prostoru.

Dle požadovaného zadání dizertační práce byly vypracovány výstupy jak pro teoretickou část, tak pro praktické použití.

V teoretické části proběhla rešerše stávajícího stavu problematiky hluku, ujasněna platná legislativa a pro hluk vznikající při výstavbě definovány limity i názvosloví.

Největší časový podíl na řešení byl investován do shromáždění cca 600 hodnot akustického výkonu stavebních strojů L_{WA} a dodavatelů a výrobců strojů.

Pro zdrojovou tabulku dat byly zpracovány přehledy pro přenos zvuku, tedy převod L_{WA} na L_{pA} v definovaných vzdálenostech od zdroje až do 70 metrů odstavu a to pro požití koeficientů směrůvosti $Q1$ i $Q2$. Pro rozdělení strojů do vhodných skupin a kategorií dle typů strojů, technologií a hlukových dominantací bylo provedeno statistické vyhodnocení, určení středních hodnot a charakteristik variability pro rozdělení skupin a podskupin.

Byly definovány kombinace pro hlukově dominantní strojní sestavy a přepočten jejich akustického výkonu jako společného zdroje s následným vyhodnocením spolehlivosti předpovědi budoucího hluku s vyhodnocením odlišnosti hlukové náročnosti základních technologií výstavby. Pro možnosti úprav staveniště a práci s objekty zařízení staveniště jako s akustickými překážkami

byla zpracována oblast definování vlivů a nastavování okrajových podmínek pro výpočet akustického tlaku L_{PA} .

Pro srovnatelnost vlivů byla provedena specifická případová studie etalonu staveniště, která vyjadřuje, jaký je podíl definovaných vlivů na jedné investici.

Byl vypracován návod pro práci s programem HLUK plus [15] při specifickém zadávání hluku ze stavební činnosti s doporučeními a zobrazením vizualizací pásem izofon pro dílčí zadání. Pro nejhlučnější proces pilotáž byly posouzeny jak výpočtové, modelované ale i měřené hodnoty.

Byly definovány spolehlivosti předpovědí, se kterými lze využívat přílohy a vypracované pomůcky této práce jako dílčí části, zejména přehled zdrojových dat. Doloženo grafické znázornění pro návrh metodiky přístupu s vazbou na vypracované podklady.

Využití zadaných vzorců v tabulkách Excel pro získání příloh 2-9 této práce jak jednotlivě, tak v propojení s přehledem strojů s akustickými výkony vede pro další pokračování na daném tématu k tvorbě specializované SW podpory využitelné ve stavebních firmách.

Nejsilnější strojní sestavu je sestava pro hlubinné zakládání – pilotáž s odvozem výkopku. Rozdíl mezi technologií betonáže pomocí badie a čerpadla činí 2 dB. Pro možnost výběru technologie s nižší hlučností lze využít získané hodnoty L_{WA} a L_{PA} z tabulek této práce.

Co se týká odpovědi na hlavní otázku, zda a s jakou přesností lze predikovat staveništní hluk, z hodnot v tabulkách vyplývá, že lze modelovat staveništní hluk v přesnosti jednoho izofonního pásma, tedy cca kolem **5 dB**, abychom mohli předvídat v kontextu s měřením i výpočty.

S podobnou přesností **do 6%** hodnoty L_{WA} lze pracovat i s podklady strojních skupin, kdy není ještě znám konkrétní stavební stroj, ale je známa technologie, tedy lze vzít střední hodnotu L_{WA} pro v této práci označené **podskupiny**. V prognostických modelech lze pracovat i s přesnějšími čísly, abychom se co nejvíce přiblížili budoucím hodnotám hluku. To však nezaručuje, že taková bude i skutečnost. Jedná se často o přesný výpočet nepřesných čísel, je třeba dbát na vstupní hodnoty.

11 Praktický a teoretický přínos pro praxi

Zmapování legislativního pozadí vybrané množiny staveništního hluku, centralizace hodnot akustických výkonů strojů dle skupin, návod k využití SW podpory Hluk plus k možnému modelování staveništního hluku, možnost využití dílčích informací o přenosu hluku z tabulek této DP, využití případových studií jako vzorů pro další řešení, zohlednění zdokumentovaných dílčích vlivů prostředí na míru přesnosti jiných modelů staveništního hluku. Vytvořen podklad pro SW produkt pro přípravu staveb může být včleněn do databáze strojů - zdrojů hluku pro využití dodavatele SW Hluk plus [15], partnerů z oblasti podnikatelského sektoru, oborovým sdružením, fakultám.

Možnost následné vědecké činnosti v dané oblasti, zadávání dalších témat dizertačních prací, které zpřesní a prohloubí dosažené informace.

Využití ve výuce předmětů zajišťovaných ústavem TST:

CW016 Ekologie a bezpečnost práce

CW017 Specializovaný projekt (R)

CW021 Diplomový seminář (R)

CW022 Stavebně technologické projektování

CW014 Počítačová podpora v přípravě a realizaci staveb I

V těchto předmětech se studenti zabývají stavebně-technologickou přípravou stavby, v případě, že se dostatečně seznámí s problematikou hluku na staveništích a možnostmi opatření při návrhu zařízení staveniště, mohou tyto skutečnosti promítnout do přesněji zpracovaných dokumentů nasazení strojních sestav, rozpočtů, časových plánů a výkresů zařízení staveniště, zpracovávaných pro odevzdání ročníkových, bakalářských a diplomových projektů.

12 Studijní prameny

- [1] ZÁKON Č.258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví, ve znění pozdějších předpisů
- [2] NV 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.
- [3] Position paper on guidelines for the application of the European Parliament and Council Directive 2000/14/EC on the approximation of the laws of the Member States relating to the noise emission in the environment by equipment for use outdoors A report produced for the European Commission Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2002 ISBN- 92-828-6706-4, překlad dostupný z adresy: <http://www.unmz.cz/urad/pozicni-dokument>
- [4] ČSN ISO 1996 (01 1621): Akustika – Popis, měření a hodnocení hluku prostředí – Část 2: Určování hladin hluku prostředí. ČNI, srpen 2009
- [5] ČSN ISO 1996-2, která - mj. - specifikuje postup při zjišťování hladiny akustického tlaku vytvářeného polem akustických vln, dopadajících na fasády stavebních objektů
- [6] ČSN ISO 6395 Měření vnějšího hluku vyzařovaného stroji pro zemní práce
- [7] HH ČR č.j. 62545/2010-OVZ-32.3-1.11.2010 METODICKÝ NÁVOD ke sjednocení postupu orgánů ochrany veřejného zdraví při hodnocení hluku v chráněném venkovním prostoru staveb, Ministerstvo zdravotnictví – hlavní hygienik České republiky
- [8] Nařízení vlády č. 194/2000 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na výroby z hlediska emisí hluku
- [9] Zákon č. 309/2006 Sb., kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví Nařízení vlády č. 9/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na výroby z hlediska emisí hluku
- [10] HRAZDIL, V: Ekologie a bezpečnost práce, Fakulta stavební VUT v Brně, 2008, MODUL 1, Ekologické aspekty výstavby
- [11] HRAZDIL, V: Ekologie a bezpečnost práce, Fakulta stavební VUT v Brně, 2008, MODUL 2, Bezpečnost práce a řízení stavebního podniku
- [12] HRAZDIL, V: Ekologie stavební výroby, Fakulta stavební VUT v Brně, 2009, MODUL 1,
- [13] www.ekolagroup.cz
- [14] www.osha.europa.eu
- [15] www.hlukplus.cz
- [16] <http://www.vzbb.sk/sk/aktuality/spravy/2011/hluk.php.www.khsstc.cz>
- [17] <https://mapy.cz>
- [18] CALDA, Emil, DUPAČ, Václav. Matematika pro gymnázia. Kombinatorika, pravděpodobnost, statistika. Praha: Prometheus, 2006
- [19] Václav Cílek Tsunami je stále s námi ISBN 80-86851-22-2

- [20] William J. Murphy, PhD, Hearing Loss Prevention Section, NIOSH, 4676 Columbia Parkway, MS C-27, Cincinnati, Ohio 45226-1998, ISSN 1074-5734
- [21] Výpočtové akustické studie, hodnocení pro účely ochrany veřejného zdraví před hlukem, obecný rámec, NRL, 2008
- [22] KANTOVÁ, R.: Ekologie a bezpečnost práce, modul 02: Hluk ze stavební činnosti, Fakulta stavební VUT v Brně, 2015, Studijní opora CW016 pro obor Realizace staveb
- [23] <http://www.bauerpileco.com>
- [24] <https://www.manek.cz/>
- [25] <https://www.husqvarna.com/cz/>
- [26] <https://www.atlascopco.com/>
- [27] <https://cz.milwaukeetool.eu/>
- [28] <https://www.liebherr.com/int/cs/cze/%C4%8Desk%C3%A1-republika/kontakt/contact.html>
- [29] <https://zeppelin.cz/cs/site/zeppelin/o-spolecnosti/o-nas.htm>
- [30] <https://www.catfinancial.com/>
- [31] <https://dynapac.com/en/>

13 Životopis



Osobní údaje: Ing. Radka Kantová

Datum a místo narození:	7. 4. 1969 v Brně
Bydliště:	Strnadova 7, Brno, 628 00
Zaměstnavatel:	VUT v Brně, Fakulta stavební, Veveří 95, 602 00, Brno Ústav technologie, mechanizace a řízení staveb,
Pracovní zařazení:	asistent, pedagogický tajemník https://www.vutbr.cz/lide/radka-kantova-2302

Údaje o vzdělání na VŠ:

- 1993: Státní závěrečná zkouška (titul inženýr) Obor 36-31-8 Pozemní stavby, specializace Technologie, mechanizace a řízení staveb, FAST VUT v Brně,
- 1994: Doplňující studium zaměřené na učitelství odborných předmětů stavebních při FAST VUT v Brně, Ústav společenských věd, dle vyhl. MŠ č.60/1985,
- 1997: Absolutorium kurzu Vysokoškolské pedagogiky a psychologie – celoživotní vzdělávání dle zák.č.172/90Sb. při FAST VUT v Brně – Ústav společenských věd,
- 2005: Specializační studium technického zručnosti v oboru stavebnictví a ekonomiky ukončené závěrečnou zkouškou odborné způsobilosti k výkonu znalecké činnosti dle zák.č.36/1967Sb.,
- od roku 2011 doposud: Studium doktorského studijního programu P3607-nDK Pozemní stavby, FAST VUT

Údaje o odborném působení :

- 1994 – doposud: asistent FAST VUT v Brně, Ústav Technologie, mechanizace a řízení staveb, pedagogický tajemník
- 2011 – doposud: Ústav soudního inženýrství VUT v Brně, člen komisí SZZ, zkoušející okruhu Stavebnictví
- 2010 – 2013: Ústav soudního inženýrství VUT v Brně, pro obor Realitní inženýrství výuka předmětů: Příprava a řízení staveb, Technologie provádění staveb,

- 2009 – 2011: Pedagogická fakulta MUNI, výuka předmětů Stavební technologie
- 2005 – 2012: Spolupráce s Národním stavebním centrem v Brně, zajišťování odborných vzdělávacích seminářů celoživotního vzdělávání ČKAIT
- 2001 – 2005: Vedení Poradenského střediska FAST VUT v Brně, Stavební centrum BVV Brno
- 1992 – 1994: Administrativní pracovník KODRA - Organizační a ekonomické poradenství Brno
- 1985 – 1993: Technické práce pro archeologický výzkum Archeologického ústavu ČSAV v Brně

Zkušenosti s vedením kvalifikačních prací:

Počet vedených obhájených VŠKP :
bakalářských prací: 70, magisterských prací: 77
(z toho za dobu studia 59 BP a 55 DP)

Publikační činnost:

<https://www.vutbr.cz/lide/radka-kantova-2302/publikace#navigace-vizitka>

Researcher ID [M-3707-2018](https://orcid.org/0000-0003-4916-579X),

ORCID ID [0000-0003-4916-579X](https://orcid.org/0000-0003-4916-579X)

Scopus ID [56491234100](https://orcid.org/0000-0003-4916-579X)

Celkem publikací: 60, (z toho za dobu studia 26, 2x Scopus, 1x WOS)

Ohlasy publikací: WOS 3x, Scopus 3x

Výběr z publikační činnosti

- KANTOVÁ, Radka. Construction machines as a source of construction noise. In Structural and Physical Aspects of Civil Engineering. Procedia Engineering. 1. Amsterdam: Elsevier Ltd., 2017. p. 1-8. ISBN: 978-80-553-1488-4. ISSN: 1877-7058.(100%)
- KANTOVÁ, Radka, MOTYČKA, Vít. *Construction Site Noise and its Influence on Protected Area of the Existing Buildings* The 9th International envIBUILD 2014 Conference held in Brno. PROCEEDINGS Advanced Materials Research Vol. 1041, 2014, p. 419-423, Online available since 2014/Oct/27 at www.scientific.net, Trans Tech Publications, Switzerland, ISSN 978-3-03835-280-8 (70%)
- KANTOVÁ, Radka, KUČERA, Zdeněk. *Influence of Roads Renovation in Havlíčkův Brod on Adjacent Housing Development* The 9th International envIBUILD 2014 Conference held in Brno, p. 1-4, (70%)
- MOTYČKA, V.; HENKOVÁ, S.; KANTOVÁ, R. Brno University of Technology & Faculty of Civil Engineering Considers the Opinions of Construction Companies When Planning Study Programme Content. In Conference Proceedings of 3rd Cyprus International Conference on Educational Research. Procedia Social and Behavioral Sciences. ELSEVIER SCIENCE BV, SARA BURGERHARTSTRAAT 25, PO BOX 211, 1000 AE AMSTERDAM, NETHERLANDS, 2014. p. 423-427. ISSN: 1877-0428.
- KANTOVÁ, Radka. *Speciální technologie v praxi*, VUT v Brně, FAST, 2014, p.1-20, ISSN 978-80-214-4833-9. (100%)

Výběr z vědecké a výzkumné činnosti:

- HENKOVÁ, S.; ŠTĚRBA, M.; LIŠKA, P.; KANTOVÁ, R.: FAST-S-11-46; *Vzorové technologické postupy při recyklaci a následné využití při výstavbě*. (ověřená technologie)
- HENKOVÁ, S.; ŠTĚRBA, M.; LIŠKA, P.; KANTOVÁ, R.: FAST-S-11-46; *Návrh technologických postupů při recyklaci a následném využití při výstavbě v oblastech brownfieldů*. (Specifický výzkum S, spoluřešitel)
- HENKOVÁ, S.; ČECH, D.; VENKRBEC, V.; KANTOVÁ, R.: FAST-S-12-24; *Využití jemných podtlů stavební suti vzniklých při recyklaci k rekultivacím*. (Specifický výzkum S, spoluřešitel)
- KANTOVÁ, R.; KUČERA, Z.; ŘIHÁK, P.; ŠPINAR, P.: FAST-S-14-2212; *Modelování staveništního provozu s ohledem na hlukový aspekt výstavby*. (Specifický výzkum S, řešitel)
- CEPRI – *Středoevropské centrum pro vytváření a realizaci inovovaných technicko - ekonomických studijních programů*, CZ.1.07/2.2.00/28.0301, operační program EU, řešitel části CW20, AW51, TW01, TW02
- OKTAEDR - *partnerství a sítě ve stavebnictví*, CZ.1.07/2.4.00/31.0012, spoluřešitel za TST

V Brně, 2018

Ing. Radka Kantová

